

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Tomislav Lisak

Zagreb, 2015. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Dr. sc. Biserka Runje, dipl. ing.

Student:

Tomislav Lisak

Zagreb, 2015 godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad „Poboljšavanje kontrole parametara procesa toplinske obrade“ izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem mentorici dr.sc. Biserki Runje, izv. prof., na pruženoj pomoći, savjetima te uloženom vremenu i trudu tokom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem kolegama iz TPK Orometal koji su pripomogli u ostvarenju ovog rada svojim stručnim savjetima.

Zahvaljujem svojim prijateljima i obitelji koji su uvijek bili podrška kad mi je trebalo, a posebno svome tati Ivanu, pokojnoj mami Zdenki i supruzi Moniki koji su se najviše žrtvovali da bih završio školovanje.

Tomislav Lisak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **TOMISLAV LISAK** Mat. br.: 0035174343

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **POBOLJŠANJE KONTROLE PARAMETARA PROCESA TOPLINSKE OBRADJE**

Naslov rada na engleskom jeziku: **IMPROVEMENT OF PARAMETER CONTROL OF THE HEAT TREATMENT PROCESS**

Opis zadatka:

U tvrtki TPK Orometal d.d. iz Oroslavlja od 2010. godine se koristi nova peć za toplinsku obradu. Kako proces nije automatiziran nadzor parametara procesa se obavlja u određenim vremenskim intervalima od strane radnika. U cilju poboljšanja kontrole parametara procesa potrebno je:

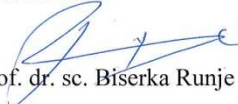
1. Sukladno zahtjevima norme EN 13 445 – 4 definirati najznačajnije parametre procesa.
2. Provesti analizu odabranih parametara iz prijašnjih procesa za pojedine proizvodne dijelove (plamenice, podnice, zavarene konstrukcije).
3. S obzirom na rezultate analize dati prijedlog novog sustava za nadzor parametara procesa i obradu podataka.
4. Sukladno zahtjevima gore navedene norme, za odabrane parametre, procijeniti sposobnost procesa.

Zadatak zadan:
13. studenog 2014.

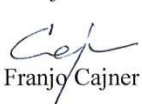
Rok predaje rada:
15. siječnja 2015.

Predviđeni datum obrane:
21., 22. i 23. siječnja 2015.

Zadatak zadao:


Prof. dr. sc. Biserka Runje

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	III
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
1. UVOD.....	1
2. TOPLINSKA OBRADA	3
2.1. Uvod u toplinsku obradu.....	3
2.2. Toplinska obrada čelika	4
2.3. Toplinska obrada prema EN 13 445 - 4	5
2.3.1. EN 13445-4:2009: Neložene tlačne posude - Proizvodnja	5
2.3.2. Toplinska obrada nakon hladnog oblikovanja	6
2.3.3. Toplinska obrada nakon toplog oblikovanja.....	7
2.4. Normalizacijsko žarenje.....	9
2.5. Žarenje za redukciju zaostalih naprezanja	10
2.6. Homogenizacijsko žarenje	12
2.7. Poboljšavanje	13
2.8. Elektro-otporna peć EUP_KP 14/1000	14
2.8.1. Komora za zagrijavanje	14
2.8.2. Način rada peći.....	16
3. PROCJENA SPOSOBNOSTI PROCESA	18
3.1. Sposobnost u dužem vremenskom razdoblju (Long-Term Process Capability).....	19
3.2. Preliminarna sposobnost procesa (Preliminary Process Capability).....	21
3.3. Sposobnost u kratkom vremenskom razdoblju (Short-Term Capability)	22
3.4. Procjena sposobnosti procesa u programu Minitab	23
4. ANALIZA PROCESA TOPLINSKE OBRADE	27
4.1. Postojeći nadzor	27
4.2. Analiza procesa sa postojećim nadzorom	30
4.3. Analiza u programu Minitab	31
4.4. Analiza procesa u programu Microsoft Excel.....	33
5. PRIJEDLOG NADZORA PROCESA TOPLINSKE OBRADE	37
5.1. Postavljanje nadzorne kamere.....	37
5.1.1. Odabir kamere.....	38
5.1.2. Povezivanje kamere sa računalom	39
5.2. Slanje podataka pomoću serijske komunikacije	42
6. ZAKLJUČAK.....	44
LITERATURA.....	46
PRILOZI.....	47

POPIS SLIKA

Slika 1.	Dio certifikata [1]	1
Slika 2.	Opći dijagram postupka toplinske obrade [4]	3
Slika 3.	Podnice izrađene hladnim oblikovanjem spremne za normalizaciju [1].....	6
Slika 4.	Segmenti izmjenjivača topline – bez naknadne toplinske obrade [1]	7
Slika 5.	Način zagrijavanja plamenice [1].....	8
Slika 6.	Utiskivanje plamenice [1]	8
Slika 7.	Izgled proizvoda nakon otvaranja peći (početak hlađenja) [1]	9
Slika 8.	Dijagram normalizacijskog žarenja s prikazom mikrostrukture te TTT dijagrama [5]	10
Slika 9.	Distributor sa spojenim termoelementom prije žarenja [1].....	11
Slika 10.	Dijagram žarenja za redukciju zaostalih naprezanja [5]	11
Slika 11.	Dijagram postupka difuzijskog žarenja [3]	12
Slika 12.	Dijagram postupka postupka poboljšavanja čelika[5].....	13
Slika 13.	Izolacija peći pomoću keramičkih vlakana	14
Slika 14.	Podnice položene na dno peći prije toplinske obrade	15
Slika 15.	Mehanizam za otvaranje / zatvaranje peći	16
Slika 16.	Raspored grijača u peći	16
Slika 17.	Upravljački ormar.....	17
Slika 18.	Tolerancijsko polje zahtjeva.....	18
Slika 19.	Primjeri različitih indeksa sposobnosti.....	20
Slika 20.	Prikaz spajanja termoelementa na registrator temperature.....	27
Slika 21.	Registrator temperature s tintnim pisačem.....	28
Slika 22.	Vađenje proizvoda za hlađenje na mirnom zraku	28
Slika 23.	Zapis podataka procesa toplinske obrade	29
Slika 24.	Podnica s označenim uzorcima za ispitivanje	29
Slika 25.	Rezultati umjeravanja.....	30
Slika 26.	Simulacija sposobnosti procesa toplinske obrade	32
Slika 27.	Provjera kretanja temperature unutar držanja	34
Slika 28.	Prikaz kretanja temperature cijelog procesa.....	36
Slika 29.	Kamera za nadzor	38
Slika 30.	Izgled softverskog sučelja	39
Slika 31.	Postupak spajanja sa računalom preko TimeViwer	40
Slika 32.	Dodjeljivanje ID adrese i lozinke prilikom registracije	40
Slika 33.	Registracija na DynDNS	41
Slika 34.	Povezivanje sa DynDNS	42
Slika 35.	Mjesto spajanja računala s registratorom temperature	43
Slika 36.	Shema spajanja računala s registratorom temperature	43

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz izmjerenih podataka	31
Tablica 2. Podaci za držanje	33
Tablica 3. Podaci za cijeli proces	35

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
ϑ_{TO}	°C	Temperatura toplinske obrade
t	h	Vrijeme toplinske obrade
F	%	Stupanj deformacije
R	mm	Radijus zakrivljenosti za cijev
D_e	mm	Vanjski promjer cijevi

SAŽETAK

Diplomski rad bavi se poboljšanjem nadzora peći za toplinsku obradu koja se nalazi u tvrtki TPK Orometal d. d. iz Oroslavja. Peć je kupljena 2010. godine za vlastite potrebe i za vršenje usluga. Sustav za nadzor toplinske obrade koji se trenutno nalazi na peći u nekim segmentima rada ne zadovoljava potrebe tvrtke stoga je bilo potrebno pristupiti poboljšanju sustava.

U prvom dijelu rada ukratko su opisani postupci toplinske obrade koji su propisani zahtjevima norme EN 13 445 – 4. Navedena norma koristi se za izradu tlačnih, neloženih posuda. Nadalje, opisana je peć sa sustavom za vođenje i nadzor procesa.

U drugom dijelu rada opisana je mogućnost korištenja programskog paketa Minitab za analizu podataka koji se prikupljaju tijekom procesa toplinske obrade.

Treći dio opisuje postojeći nadzor procesa toplinske obrade. Na temelju simuliranih podataka za proces žarenja za redukciju zaostalih naprezanja napravljeno je više analiza. Napravljena je procjena sposobnosti u programskom paketu Minitab i analize u Microsoft Excelu kako bi se ustvrdilo odvija li se dotični proces po zadanim parametrima.

Poboljšanjem sustava nadzora bavi se četvrti, posljednji, dio rada. Istražena je mogućnost korištenja nadzorne kamere u svrhu praćenja procesa. Također se istražuje mogućnost upotrebe drugačijeg, digitalnog, zapisa podataka tijekom procesa.

1. UVOD

TPK Orometal je tvrtka koja je prije više od pola stoljeća započela s proizvodnjom parnih kotlova i tlačnih spremnika te taj kontinuitet traje sve do danas, bez prestanka. Uspješno je proživjela mnoge promjene, od pripojenja velikom SOUR-u TPK i njegovog raspada, Domovinskog rata, uspješne privatizacije pa sve do zadnje gospodarske krize. Za takvu uspješnost zaslužno je to što Orometal ima vlastiti projektno-konstruktorski ured, tehnološko-razvojnu službu i prodaju koje čini visokoobrazovani kadar koji nudi niz suvremenih i originalnih rješenja i proizvoda. Takav kadar odlikuje sposobnost prilagodbe specifičnim zahtjevima kupaca, što je i glavna misao vodilja tvrtke. Tvrtka se nalazi u Oroslavju, u blizini Zagreba. Postojeće željezničke i cestovne veze omogućavaju pristup glavnim europskim transportnim koridorima [1].

Glavne djelatnosti TPK Orometala su proizvodnja parnih kotlova i kompletnih kotlovskih postrojenja, izrada tlačnih i netlačnih posuda te izrada izmjenjivača topline. S obzirom na gospodarsku situaciju u državi i specifičnošću posla kojim se tvrtka bavi, primorana je širiti svoje proizvode na šira europska, pa i svjetska tržišta. Kako bi uspješno mogli poslovati na tim tržištima, bilo je potrebno prilagoditi proizvodni program mnogim zahtjevima. Tako Orometal posjeduje certifikate TÜV-a prema ISO 9001:2008 koje su potrebni za projektiranje, izradu i montažu tlačne opreme i parnih kotlova [1].



Slika 1. Dio certifikata [1]

Upotrebom modernih tehnologija i alata moguće je izraditi veće i kompleksnije proizvode u odnosu na prošlost, no time dolazi i zahtjev za što manju cijenu, kao i u svim granama proizvodne industrije. S obzirom da je glavna sirovina za izradu naših proizvoda metal (čelik), smanjenjem debljine stjenke, a time i same težine, moguće su najveće uštede kako bi sa cijenom bili konkurentni na globalnom tržištu, a istovremeno da se ne ugrozi egzistencija samih radnika. Kako bi se izračunale optimalne dimenzije proizvoda, izrađuje se niz složenih proračuna kojima se proračunavaju dimenzije. Svi ti proračuni moraju biti usklađeni sa točno propisanim normama. Pošto se radi o globalnom tržištu, najčešće se proračuni rade po europskim propisima (EN) ili po američkim propisima (ASME) što u konačnici ovisi o želji kupca [1].

Pošto je većina proizvoda pod tlakom, sama njihova izrada zahtjeva više pažnje. Ukoliko dođe do propusta u proizvodnji posljedice bi mogle biti pogubne, kako za materijalnu imovinu, tako i za ljudske živote. Zato su propisi za izradu takvih proizvoda potanko razrađeni i strogo definirani. Samim time i materijal koji se ugrađuje u proizvode mora imati atestnu dokumentaciju od strane proizvođača. Problem nastaje kada se poluproizvod (metalne cijevi ili ploče) mora preoblikovati u funkcionalni proizvod ili dio proizvoda. U većini slučajeva to se vrši ili spajanjem pomoću zavarivanja ili plastičnom deformacijom. Kod i jednog i drugog procesa dolazi do promjene u mikrostrukturi materijala a time se gube mehanička svojstva koja se navode u atestu proizvođača materijala. Zato je potrebna naknadna toplinska obrada koja bi ponovo trebala povratiti tražena mehanička svojstva [1].

2. TOPLINSKA OBRADA

2.1. Uvod u toplinsku obradu

Prema definiciji EURO-NORMI, 52-67, toplinska obrada je niz postupaka u kojim se metalni proizvod u čvrstom stanju podvrgava djelovanju niza temperaturno-vremenskih promjena sa svrhom promjene strukture, a time i promjenom svojstava u željenom smislu.

Toplinska obrada ima smisla jer je poznato da sva svojstva metalnih materijala proizlaze iz strukturnih oblika tih materijala.

Postoje dvije glavne mogućnosti promjene svojstava metalnih legura:

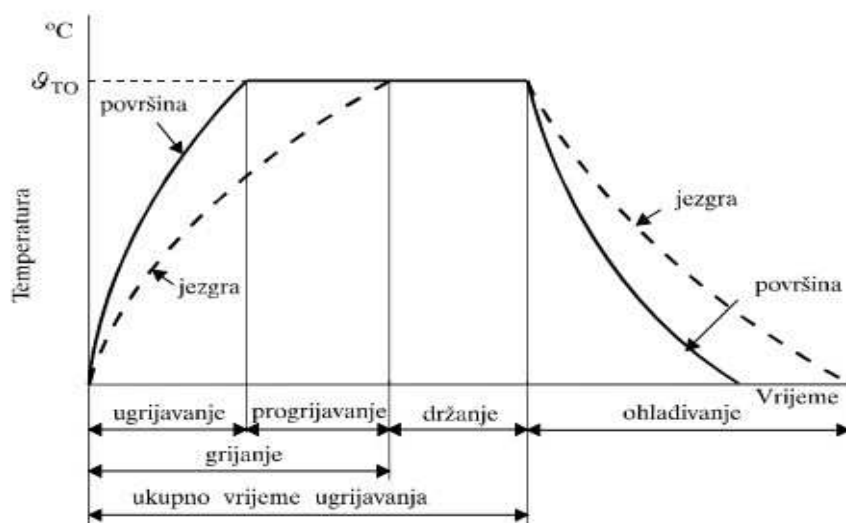
1. Legure kojima glavna komponenta ima svojstvo polimorfnih promjena.

Na primjer; željezo u Fe-C legurama, prilikom zagrijavanja mijenja se oblik kristalne rešetke a s time i sama svojstva legure.

2. Legure kojima ni jedna komponenta nema svojstvo polimorfnih promjena.

Na primjer; sustavi Al-Cu-Mg, postoji mogućnost potpunog otapanja drugih komponenta u osnovnoj a da pritom ostanu u prisilnoj otopini i nakon gašenja, bilo to na sobnoj ili na povišenim temperaturama.

Također postoje legure kod kojih su moguće obje vrste promjene svojstava, npr; brzorezni čelici, alatni čelici za rad pri povišenim temperaturama, visokolegirani ultračvrsti čelici. Kod toplinske obrade najvažniji parametri su temperatura i vrijeme te se pomoću njih crta dijagram postupka toplinske obrade [Slika 2].



Slika 2. Opći dijagram postupka toplinske obrade [4]

Temperatura koja je označena na dijagramu ϑ_{TO} označava iznos temperature u °C pri kojoj se odvija toplinska obrada. Iako nisu označena na dijagramu, vremena također imaju svoje oznake:

- trajanje ugrijavanja označuje se s t_{ugr} i predstavlja trajanje ugrijavanja površine proizvoda do temperature postupka,
- trajanje progrijavanja označuje se s t_{pr} i predstavlja vrijeme od trenutka postignuća temperature postupka na površini pa do trenutka postignuća te temperature i u samoj jezgri proizvoda,
- trajanje držanja označuje se s t_d i provodi se na temperaturi postupka da se omoguće promjene u mikrostrukтури samog proizvoda,
- vrijeme grijanja označuje se s t_{gr} i predstavlja vrijeme ugrijavanja i progrijavanja
- vrijeme ohlađivanja označuje se s t_{ohl} i predstavlja vrijeme potrebno da se, kod ohlađivanja, izjednače temperatura površine i jezgre [4].
-

2.2. Toplinska obrada čelika

Da bi se uopće ostvario postupak toplinske obrade, najprije se treba dovesti toplina samom proizvodu, što uzrokuje porast temperature. Dva su načina na koji se toplina može dovesti proizvodu:

- prijenosom topline na površinske slojeve proizvoda (zračenjem topline, npr. u komornim pećima, prijelazom topline dodirom, u solnim kupkama),
- stvaranjem topline u masi proizvoda (npr. indukcijskim ili otpornim ugrijavanjem).

Daljnji prijenos topline prema jezgri odvija se pomoću provođenja topline pa se iz toga može zaključiti da će se jezgra zagrijati kasnije nego sama površina.

Hlađenje se kontrolira:

- pri postupcima žarenja većinom sporo (u peći ili na mirnome zraku)
- pri postupcima gašenja radi kaljenja, intenzivno (uronjavanjem u ulje, vodu, hladniju solnu kupku, itd.) radi pothlađenja polimorfno promjenjivih legura, kako bi se otežala difuzija i „bijeg“ otopljenog elementa iz prisilne otopine.

U normi EN 13 445 – 4 navode se postupci koji se izvode kako bi se osigurala željena svojstva materijala nakon preoblikovanja, stoga će u daljnjem tekstu biti ukratko opisani [4].

2.3. Toplinska obrada prema EN 13 445 - 4

EN 13 445 norma je koja točno propisuje konstruiranje, izradu i ispitivanje tlačnih posuda. Postoji i hrvatska norma koja ima naslov na hrvatskom jeziku, uz predznak HRN, dok je tekst na engleskom jeziku i identičan je onome iz europske norme [1].

Sastoji se od 7 dijelova od kojih svaki opisuje određeni proizvodni dio samog procesa izrade proizvoda. Redom su to:

- EN 13445-1:2009; Neložene tlačne posude -- 1. dio: Općenito,
- EN 13445-2:2009; Neložene tlačne posude -- 2. dio: Materijali,
- EN 13445-3:2009; Neložene tlačne posude -- 3. dio: Projektiranje,
- EN 13445-4:2009; Neložene tlačne posude -- 4. dio: Proizvodnja,
- EN 13445-5:2009; Neložene tlačne posude -- 5. dio: Pregled i ispitivanje,
- EN 13445-6:2009; Neložene tlačne posude -- 6. dio: Zahtjevi za projektiranje i proizvodnju tlačnih posuda i dijelova posuda izrađenih od nodularnog lijeva,
- EN 13445-8:2009; Neložene tlačne posude -- 8. dio: Dodatni zahtjevi za tlačne posude izrađene od aluminija i aluminijskih legura [1].

2.3.1. EN 13445-4:2009: Neložene tlačne posude - Proizvodnja

Kao što i sam naziv kaže, dio 4, odnosi se na samu proizvodnju. U njemu su sadržani zahtjevi koje proizvođač mora ispuniti prilikom procesa proizvodnje. To se odnosi na izbor materijala, tolerancije izrade, pripremu zavora, izvođenje zavarivanja, ispitivanje zavora, oblikovanje dijelova koji će biti izloženi tlaku te toplinskoj obradi zavora nakon zavarivanja.

Pod točkom 9.4 nalazi se poglavlje koje se naziva Toplinska obrada poslije oblikovanja gdje se navodi kako se toplinska obrada, poslije hladnog ili toplog oblikovanja, izvodi sukladno odgovarajućem standardu ili nekim drugim specifikacijama. Pod tu obradu spadaju normalizacija, poboljšavanje, žarenje, homogenizacijsko žarenje.

Te obrade provode se kako bi se uklonili negativni učinci procesa oblikovanja. Kod odabira parametra toplinske obrade treba se koristiti podacima koje navodi proizvođač materijala u atestima koji se daju prilikom isporuke materijala. Po potrebi, može se uzeti uzorak preoblikovanog proizvoda i napraviti probna toplinska obrada kako bi se testom utvrdila svojstva. Nakon toga bi se mogli odrediti parametri koji bi dali točno željena svojstva proizvoda [1].

2.3.2. Toplinska obrada nakon hladnog oblikovanja

U normi se razlikuju dva slučaja hladnog oblikovanja [4];

- hladno oblikovanje pločastih proizvoda,
- hladno oblikovanje cjevastih proizvoda.

Kod pločastih proizvoda glavni kriterij za odluku o toplinskoj obradi stupanj je deformacije F . Ukoliko je stupanj deformacije manji ili jednak 5 % ($F \leq 5 \%$), tada toplinska obrada nije potrebna. Kada je stupanj deformacije veći od 5 % ($F > 5 \%$), tada se pristupa toplinskoj obradi. Parametri toplinske obrade ovise o materijalu koji se obrađuje i već ranije navedenim uvjetima [1].



Slika 3. Podnice izrađene hladnim oblikovanjem spremne za normalizaciju [1]

Kada je u pitanju oblikovanje cjevastih proizvoda, način određivanja potrebe za toplinskom obradom drugačiji je. Tu postoje dva kriterija koji svojim međusobnim odnosom određuju potrebu toplinske obrade. To su radijus zakrivljenosti za cijev R i vanjski promjer cijevi D_e .

Ukoliko je radijus zakrivljenosti kod deformiranja manji ili jednak 1,3 vanjskog promjera cijevi ($R \leq 1,3 D_e$), potrebna je toplinska obrada, i to vrijedi za sve vanjske promjere cijevi [1].

Ako je vanjski promjer cijevi manji ili jednak 142 mm ($D_e \leq 142$ mm), a uz to je radijus zakrivljena veći od 1,3 vanjskog promjera cijevi ($R > 1,3 D_e$), tada toplinska obrada nije potrebna (Slika 4). No toplinska obrada potrebna je u slučaju da je vanjski promjer cijevi veći od 142 mm ($D_e > 142$ mm) uz isti uvjet radijusa zakrivljenosti ($R > 1,3 D_e$).

Zadnji slučaj je onaj kada je radijus zakrivljenosti veći od 2,5 vanjskog promjera cijevi ($R \geq 2,5 D_e$). Tada, bez obzira koliki je vanjski radijus zakrivljenosti, nije potrebna toplinska obrada [1].



Slika 4. Segmenti izmjenjivača topline – bez naknadne toplinske obrade [1]

2.3.3. Toplinska obrada nakon toplog oblikovanja

Niskouglični konstrukcijski čelici sa malim udjelom legirnih elemenata se ne podvrgavaju naknadnoj toplinskoj obradi nakon toplog oblikovanja. Takav primjer je i izrada valovitih plamenica koje se već pri samoj izradi zagriju na temperaturu preko 850 °C. Austenitni nehrđajući čelici i duplex čelici podvrgavaju se homogenizacijskom žarenju i nakon toga gašenju [1].

Svi ostali čelici koji se mogu oblikovati u toplom stanju mogu se naknadno toplinski obraditi s više postupaka. Ti postupci su: poboljšavanje, normalizacija + popuštanje, te dvostruka normalizacija + popuštanje [1].



Slika 5. Način zagrijavanja plamenice [1]



Slika 6. Utiskivanje plamenice [1]

2.4. Normalizacijsko žarenje

Normalizacija se definira kao postupak toplinske obrade koji se sastoji od austenitiziranja i ohlađivanja na mirnome zraku radi postignuća jednolikih i sitnih kristalnih zrna s perlitom (perlit + ferit kod podeutektoidnih čelika, a perlit + karbidi kod nadeutektoidnih). Prema definiciji i osnovnim ciljevima normalizacije u normaliziranoj mikrostrukturi ne smije biti martenzita ni u tragovima, pa slijedi da ohlađivanje mora biti sporije od donje kritične brzine gašenja [3].

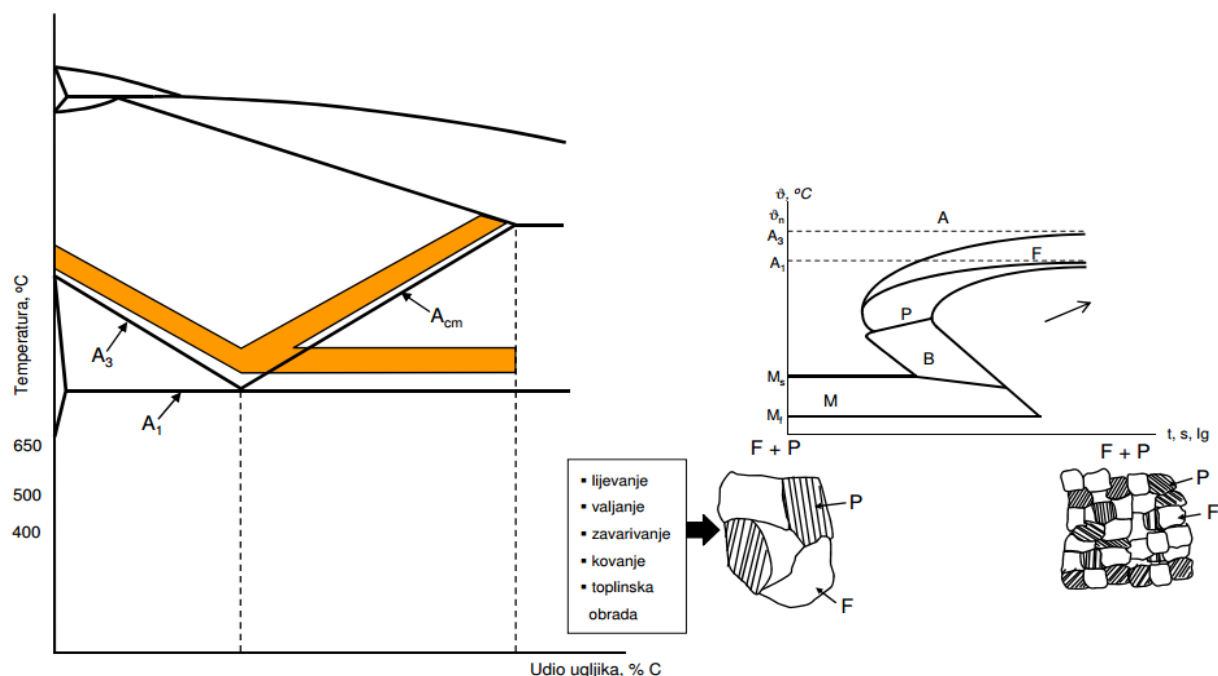
Osnovni cilj normalizacije – ekvialsijalno sitno zrno ferita i perlita – daje optimalnu kombinaciju svojstava duktilnosti nelegiranih i niskolegiranih čelika s manje od oko 0,4 % C, pa će ta toplinska obrada dominirati (ako su posrijedi konstrukcijski čelici opće namjene) kao završna obrada [3].



Slika 7. Izgled proizvoda nakon otvaranja peći (početak hlađenja) [1]

Nadalje, normalizacija je posebno učinkovit postupak za poboljšavanje svojstava hladno oblikovanih proizvoda s preniskim stupnjem oblikovanja, zavarenih spojeva, koji u ZUT-u imaju puno grešaka u mikrostrukturi, za poboljšanje obradivosti odvajanjem čestica (posebno nelegiranih i niskolegiranih čelika s više od 0,4 % C) [3].

Normalizacija nije učinkovita za uklanjanje pukotina (npr. pukotina kaljenja), uvaljanosti, dvoplatnosti, uklanjanje pojava pregaranja, uklanjanje blok – segregacija (npr. iz jezgre nesmirenih čelika).[3]



Slika 8. Dijagram normalizacijskog žarenja s prikazom mikrostrukture te TTT dijagrama [5]

2.5. Žarenje za redukciju zaostalih naprezanja

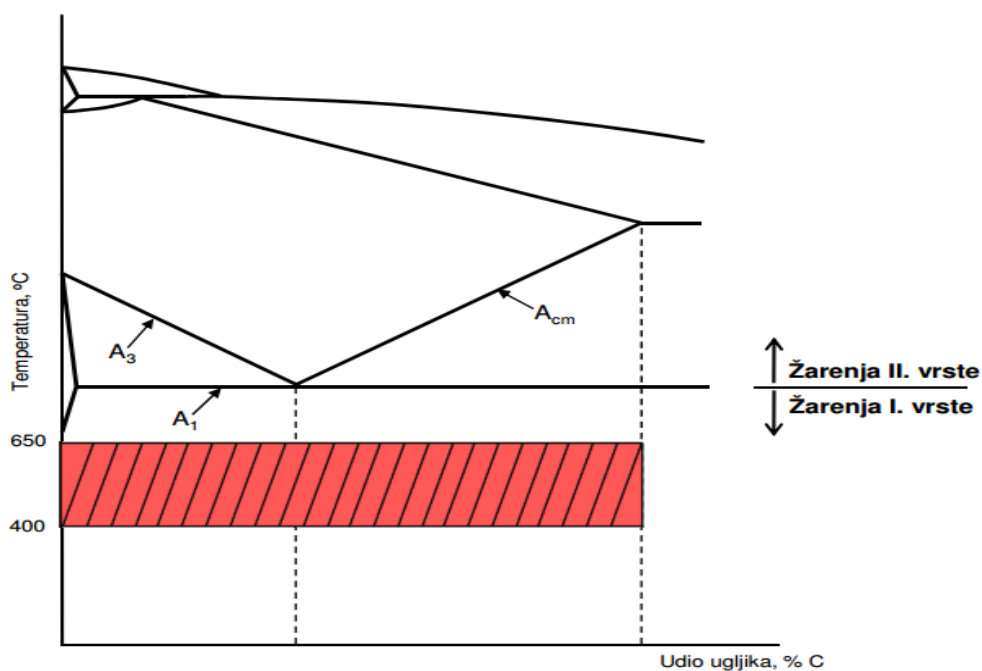
Žarenje za redukciju zaostalih naprezanja izvodi se za čelike pri temperaturama 400 do 650 °C u svrhu razgradnje zaostalih naprezanja (napetosti), nastalih bilo tijekom deformiranja ili pri obradi odvajanjem čestica ili pri prebrzom ohlađivanju nakon žarenja, zavarivanja itd. Uzrok zaostalim naprezanjima je temperaturna razlika između jezgre i ruba u tijeku ohlađivanja. Kod te vrste žarenja ne dolazi do bitnijih promjena mehaničkih svojstava strojnih dijelova niti do mikrostrukturnih promjena. Predmet se pri temperaturi žarenja drži najčešće dva (ponekad i nekoliko) sata, a ohlađuje se vrlo sporo kako ne bi pri hlađenju došlo do novog stvaranja toplinskih naprezanja [6].

Zaostala naprezanja u predmetima koji su izrađeni od čelika ili drugih metalnih materijala mogu prouzročiti štetne posljedice na izradak (deformacije, a često i pucanje dijelova). Zbog toga je potrebno reducirati što više zaostalih naprezanja [6].



Slika 9. Distributor sa spojenim termoelementom prije žarenja [1]

Pri razmjerno sporom ugrijavanju proizvoda u kojem postoje napetosti, one neće moći prekoračiti vrijednosti granice razvlačenja primjerene temperaturi, nego će se postupno razgrađivati plastičnom deformacijom. Budući da većina nelegiranih i niskolegiranih čelika ima pri oko 600 °C granicu razvlačenja samo 20 do 60 N/mm², pravilnim će se postupkom i napetosti sniziti do tih, tehnički zanemarivih iznosa.[3]



Slika 10. Dijagram žarenja za redukciju zaostalih naprezanja [5]

2.6. Homogenizacijsko žarenje

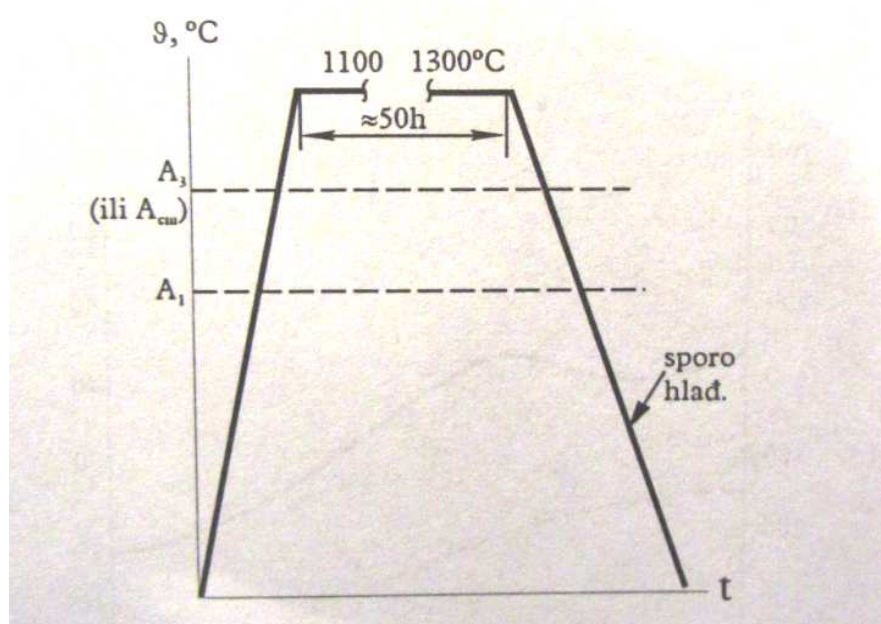
Homogenizacijsko žarenje treba ukloniti razlike kemijskog sastava nastale pri primarnoj kristalizaciji (kristalne segregacije). Te bi kristalne segregacije uzrokovale vrpčastu teksturu pri sekundarnoj kristalizaciji nakon toplog oblikovanja valjanjem [3].

Koncentracijska izjednačenja sastava difuzijom postižu se tek pri vrlo visokim temperaturama (1100 do 1300 °C) i u tijeku razmjerno dugih trajanja (oko 50 sati). Ovaj se postupak primjenjuje prije svega za čelične ljevove, a pozitivno utječu na njihovu žilavost. Dijagram postupka prikazuje slika 5 [3].

Homogenizacijskim se žarenjem poboljšavaju mehanička svojstva kasnijih čeličnih proizvoda budući da će se topljive nečistoće otopiti u austenitu, a netopljivi će se sastojci, kao npr. oksidi, nitridi i karbidi, koagulirati, tj poprimiti će kuglaste oblike [3].

Žarenje se obično izvodi u jamskim pećima, a u slučaju posebno osjetljivih proizvoda (kotrljajući ležajevi) i u zaštitnoj atmosferi radi sprečavanja oksidacije i razugljičenja.

Prirodno, struktura postignuta difuzijskim žarenjem nije podobna kao završna struktura proizvoda, pa se zato difuzijski žareni blokovi redovito normaliziraju, što radi postizanja završne strukture, što pak radi pripreme proizvoda za završnu toplinsku obradu (npr. za poboljšavanje) [3].

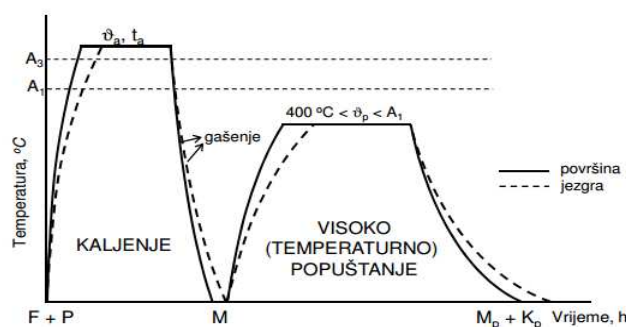


Slika 11. Dijagram postupka difuzijskog žarenja [3]

2.7. Poboljšavanje

Poboljšavanje je toplinska obrada koja se sastoji od kaljenja i visoko temperaturnog popuštanja, a čiji je osnovni cilj dobiti što veću žilavost i naprezanje tečenja za zadanu vrijednost čvrstoće. Žilavost je produkt čvrstoće i duktilnosti i od izuzetne je važnosti kod strojnih elemenata koji su u eksploataciji podvrgnuti dinamičkim ili udarnim opterećenjima. Poboljšani strojni elementi obično imaju i veću čvrstoću i veću duktilnost, a time i žilavost, od strojnih elemenata koji su u normaliziranom ili zakaljenom stanju. Svojstva poboljšanih elementa u korelaciji su sa mikrostrukturom koja se postigne nakon kaljenja, ali i onom koja se dobije nakon visokog popuštanja. Maksimalna žilavost dobije se kada se popušta zakaljena mikrostruktura koja se sastoji od fino-zrnatog martenzita koji se popuštanjem pretvara u ferit sa sitnim karbidnim česticama. Takva mikrostruktura će se postići čak i kod ugljičnih čelika ako je uzorak malih dimenzija (manji od 10 mm) [5].

Za uzorke većih dimenzija morat će se odabrati legirani čelici koji imaju veću prokaljivost od ugljičnih. To će posebno biti izraženo za visoko napregnute strojne elemente kada će se zahtijevati da stupanj zakaljenosti jezgre bude veći od 0,95 (više od 97% martenzita). Stoga je kod čelika za poboljšavanje svojstvo prokaljivosti vrlo važno radi postizanja jednolikih svojstava po poprečnom presjeku proizvoda, a posebno kod proizvoda velikih dimenzija. Već se kaljenjem nastoji postići što više martenzita u jezgri proizvoda, a onda se popuštanjem postiže daljnje ujednačavanje svojstava po poprečnom presjeku. Za razliku od ostalih mikrostruktura sa smjesama različitih faza, martenzitna mikrostruktura najviše gubi na tvrdoći popuštanjem. Svojstva po poprečnom presjeku proizvoda bit će jednoličnija što je viša prokaljivost čeliku te što je temperatura popuštanja viša [5].



Slika 12. Dijagram postupka poboljšavanja čelika[5]

2.8. Elektro-otporna peć EUP_KP 14/1000

Širenjem na europska tržišta i prilagođavanjem proizvodnje strogim normama o tlačnoj opremi, u TPK Orometalu došlo je do veće potrebe za toplinskom obradom. Kako se je povećavao obujam posla, a zbog konkurentnosti i vrijeme isporuke samog proizvoda postajalo je kraće, pojavila se ideja o nabavi vlastite peći za toplinsku obradu. Tako se u Orometalu, 2010. godine, nabavila nova elektro-otporna peć za toplinsku obradu. Peć je kupljena u Sloveniji od proizvođača Bosio kojemu je glavna djelatnost izrada industrijskih peći i strojeva za pranje i odmašćivanje. Pošto su takve peći rijetkost na ovom području Hrvatske, također se vrše usluge toplinske obrade za tvrtke koje imaju slične potrebe.

Elektro-otporna peć namijenjena je toplinskoj obradi čeličnih dijelova. Sastoji se od komore s grijačima, dna s prednjom stranicom peći, upravljačkog ormara i ostale opreme za rad peći. Peć se može koristiti za zagrijavanje i za držanje na određenoj temperaturi što se ostvaruje pomoću regulatora temperature .

2.8.1. Komora za zagrijavanje

Komora za zagrijavanje izrađena je od čeličnih profila i lima. Izvana je zaštićena temeljnom i pokrovnom plavom bojom. Na vanjskoj strani, uz lim, postavljen je keramički pokrov debljine 13 mm s aluminijskom folijom u svrhu smanjenja gubitaka uslijed kondukcije. Na taj sloj izolacije postavljaju se moduli od keramičkih vlakana koji se učvršćuju konstrukcijom od vatrootpornog čelika [7].



Slika 13. Izolacija peći pomoću keramičkih vlakana

Kako temperatura u peći može prijeći i preko 1000 °C, potrebno je upotreba izolacijskih materijala koji ostaju postojani na visokim temperaturama. Keramička vlakna jedan su od tih materijala. Prednosti keramičkih vlakana su:

- postojanost pri visokim temperaturama – do 1260 °C,
- mala specifična gustoća – 180 kg/m³,
- mala akumulacija energije – potrebno kraće vrijeme zagrijavanja.

Zbog posebnog sistema ugradnje keramički vlakana, u modulima, nema nikakvih toplinskih mostova između radnog prostora i vanjskog lima peći.[7]

Dno peći izrađeno je od termo betona te potom obloženo izolacijskom opekom. Kako dolazi do visokih temperatura, potrebno je napraviti dilataciju koja će omogućiti zagrijavanje i hlađenje peći bez pucanja materijala. Ta dilatacija također se ispunjava sa keramičkim vlaknima (Slika 14).



Slika 14. Podnice položene na dno peći prije toplinske obrade

Dno peći i zadnja stranica nepomični su dok se bočne stranice, strop i prednja stranica prilikom otvaranja i zatvaranja peći pomiču. Gibanje se izvodi pomoću dva elektromotora i reduktora koji osiguravaju moment potreban za pokretanje cijele konstrukcije koja se pomoću kotača kreće po vodicama. Kretanje se kontrolira pomoću mikro prekidača koji su montirani na krajevima vodicama i spojeni s upravljačkim ormarom [7].



Slika 15. Mehanizam za otvaranje / zatvaranje peći

2.8.2. Način rada peći

Grijanje proizvoda u peći odvija se pomoću električnih grijača koji su smješteni u dno peći te su također raspoređeni po bočnim stranicama peći. Na keramičke cijevi namotana je visokokvalitetna žica Kanthal. Takva jednostavna konstrukcija omogućuje postizanje visoke radne temperature žice te njezino optimalno opterećenje, i što je bitno produžuje životni vijek žice. Ova izvedba također omogućuje jednostavnu izmjenu grijača u peći. Priključci grijača izvedeni su na bočnoj strani peći, gdje su priključeni preko kablova na upravljački ormar.



Slika 16. Raspored grijača u peći

Upravljanje grijačima riješeno je pomoću NiCr-Ni termopara koji se nalazi na stropu peći. Termopar je spojen sa programskim regulatorom koji se nalazi u upravljačkom ormaru. Na taj način se odvija potpuno kontrolirano zagrijavanje i zadržavanje temperature u peći. Uz termoelement koji mjeri temperaturu u komori, koristi se još jedan termoelement koji se postavlja na sam obradak koji se podvrgava toplinskoj obradi. On je spojen na registrator temperature koji zatim prati i bilježi temperaturu obratka kroz cijeli proces, uključujući i hlađenje izvan peći, na mirnom zraku [7].

Hlađenje u samoj peći nije posebno izvedeno nego se izvodi otvaranjem peći i hlađenjem na zraku.



Slika 17. Upravljački ormar

3. PROCJENA SPOSOBNOSTI PROCESA

Sposobnost procesa procjenjuje se računanjem tzv. indeksa sposobnosti procesa. Računanje i pravilna interpretacija indeksa sposobnosti procesa temelji se na sljedećim pretpostavkama:

- raspodjela podataka može se aproksimirati normalnom raspodjelom;
- proces koji se razmatra je stabilan i bez značajnih uzroka varijacija;
- pouzdana procjena sposobnosti procesa može se donijeti samo temeljem praćenja procesa primjenom odgovarajuće kontrolne karte i nakon dovođenja procesa u stanje statističke kontrole.

Otklanjanjem značajnih uzroka varijacija u procesu i dovođenjem sredine procesa u okoliš ciljane vrijednosti ima smisla procjenjivati njegovu sposobnost. Za proces kažemo da je sposoban ako je raspon zahtjeva veći ili jednak rasponu procesa.[8]

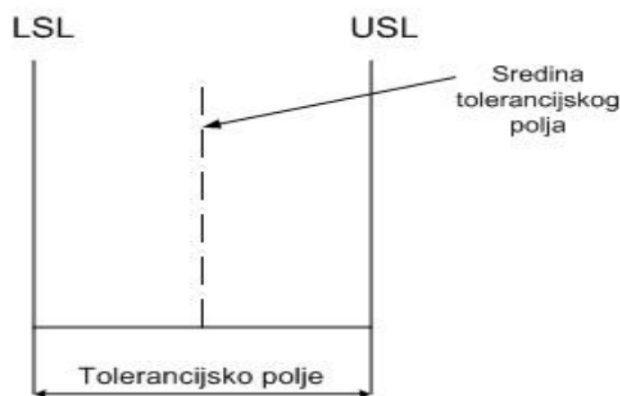
Raspon zahtjeva (tolerancijsko područje) T je područje između gornje (Upper Specification Limit) i donje granice zahtjeva (Lower Specification Limit), odnosno

$$T = USL - LSL. \quad (1)$$

Raspon procesa podrazumijeva područje unutar ± 3 standardna odstupanja ($6 \cdot \sigma$) u odnosu na sredinu procesa (99,73 % površine ispod krivulje normalne raspodjele kojom se aproksimira proces).

Temeljni uvjet sposobnosti procesa je:

$$T \geq 6 \times \sigma \quad (2)$$



Slika 18. Tolerancijsko polje zahtjeva

Uvažavajući vrijeme odvijanja procesa, procjenjivanje sposobnosti može pripadati jednoj od sljedeće tri kategorije:

1. Sposobnost procesa u dužem vremenskom razdoblju (Long-Term Process Capability);
2. Preliminarna sposobnost procesa (Preliminary Process Capability);
3. Sposobnost u kratkom vremenskom razdoblju (Short-Term Capability).

3.1. Sposobnost u dužem vremenskom razdoblju (Long-Term Process Capability)

Indeksi sposobnosti procesa računaju se nakon odvijanja procesa tijekom dužeg vremenskog razdoblja u kojem su se mogli pojaviti svi mogući utjecaji varijacija procesa. Preporuka je 20 proizvodnih dana.[8]

Indeksi su sljedeći:

Potencijalna sposobnost C_p (Potential Capability)

Dobiva se iz temeljnog uvjeta sposobnosti, odnosno:

$$C_p = \frac{T}{6 \cdot \sigma} = \frac{USL - LSL}{6 \cdot \sigma} \quad (3)$$

Standardno odstupanje procjenjuje se analizom odgovarajuće kontrolne karte, odnosno iz izraza:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (4)$$

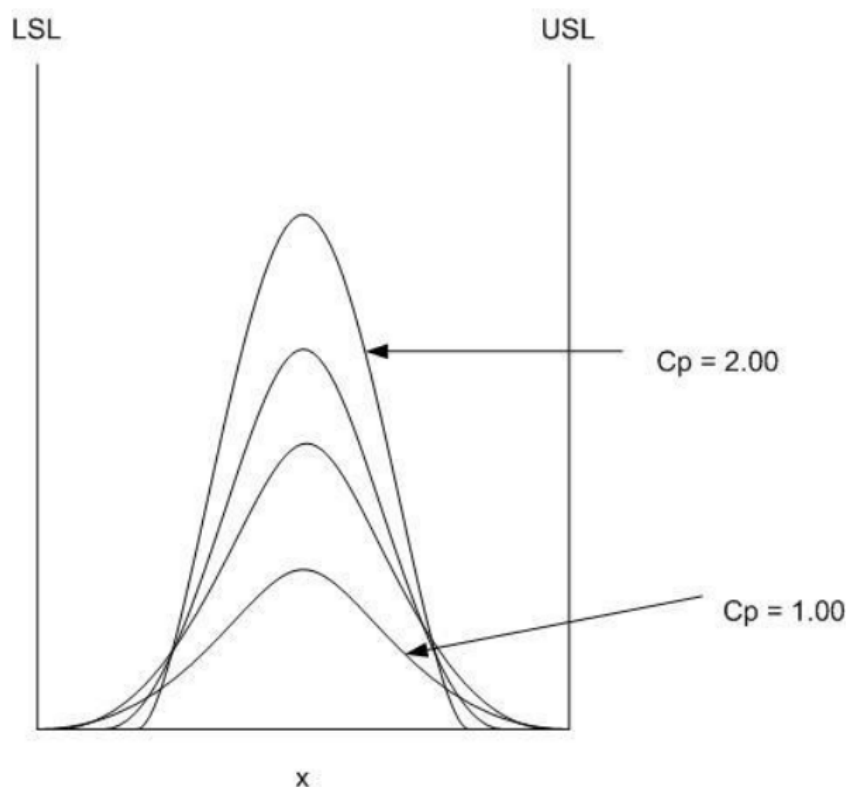
(R kontrolne karte)

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{d_2} \quad (5)$$

(S kontrolne karte)

Ovako procijenjeno standardno odstupanje naziva se standardno odstupanje iz uzoraka ili unutrašnje standardno odstupanje (within subgroups or internal standard deviation).

Iznos indeksa C_p neposredno pokazuje je li proces sposoban. Što je iznos indeksa C_p veći, to je rasipanje procesa manje. U razvijenim zemljama danas se zahtijeva da najmanja vrijednost indeksa C_p iznosi 1,33. Taj zahtjev neke kompanije podižu na 1,67, ili čak na 2, pa i više.



Slika 19. Primjeri različitih indeksa sposobnosti

Omjer sposobnosti C_r (Capability Ratio)

Iznos ovog indeksa recipročna je vrijednost indeksa C_p , odnosno:

$$C_r = \frac{1}{C_p} \quad (6)$$

Ako se iznos ovog indeksa prikaže u postocima ($C_r \times 100, \%$), dobiva se postotak tolerancijskog područja koji je iskorišten rasponom procesa. Za sposoban proces iznos indeksa C_r treba biti manji od 1.

Donja i gornja potencijalna sposobnost CpL i CpU (Lower and Upper potential capability)

Iznosi indeksa CpL i CpU računaju se korištenjem sljedećih izraza:

$$CpL = (\text{sredina procesa} - L) / 3 \times \hat{\sigma} \quad (7)$$

$$CpU = (U - \text{sredina procesa}) / 3 \times \hat{\sigma} \quad (8)$$

Sredina procesa središnja je linija primijenjene kontrolne karte. Indeksi Cp i Cr ne pokazuju kako je smješten proces u odnosu na granice specifikacija. To se može utvrditi usporedbom iznosa indeksa CpL i CpU :

- identični iznosi ukazuju na potpunu centriranost procesa (iznosi indeksa jednaki su iznosu indeksa Cp);
- iznos manji od 1 ukazuje na pojavu nesukladnosti;
- proces je pomaknut prema granici specifikacije manjeg iznosa indeksa.

Ovi indeksi računaju se u slučaju procjenjivanja sposobnosti procesa kada je dan jednostrani zahtjev na proces (samo jedna granica specifikacije).

Demonstrirana izvrsnost Cpk (Demonstrated excellence)

$$Cpk = \min(CpL, CpU)$$

Ako je proces idealno centriran, tada je $Cpk = Cp$.

3.2. Preliminarna sposobnost procesa (Preliminary Process Capability)

U nazivlju indeksa umjesto termina sposobnost (Capability) koristi se termin značajka (Performance). U tom smislu indeksi označavaju se kao Pp , PpL , PpU , Ppk . Računaju se na isti način kao Cp , CpL , CpU , Cpk , osim što se standardno odstupanje, koje se naziva **ukupno standardno odstupanje** (overall or total standard deviation), procjenjuje iz svih podataka temeljem izraza:

$$\sigma = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (9)$$

Preliminarno procjenjivanje sposobnosti procesa provodi se na početku odvijanja procesa ili nakon relativno kratkog vremena praćenja procesa. Preporuka je da se razmatra uzorak od najmanje 100 jedinica. Zahtjevi na najmanje iznose indeksa Pp i Ppk stroži su nego za iznose indeksa Cp i Cpk (npr. ako je zahtjev za $Cp \geq 1,33$, tada je ekvivalentni zahtjev za $Pp \geq 1,67$).

3.3. Sposobnost u kratkom vremenskom razdoblju (Short-Term Capability)

Za analizu sposobnosti procesa u kratkom vremenskom razdoblju često se koristi termin analiza sposobnosti stroja (Machine Capability Analysis). Primjenjuje se, u pravilu, prilikom pred-preuzimanja ili preuzimanja stroja. Preporučuje se provođenje analize na uzorku od najmanje 50 jedinica. Temeljni interes je informacija o rasipanju podataka oko ciljane vrijednosti D . [8]

$$D = (USL + LSL)/2 \quad (10)$$

Potencijalna sposobnost stroja C_{pm} (Potential Machine Capability)

C_{pm} se računa korištenjem alternativne procjene standardnog odstupanja koja sadrži efekt slučajne necentriranosti (rasipanja oko ciljane vrijednosti), odnosno:

$$\hat{\sigma} = \left\{ \frac{\sum (x_i - D)^2}{(n-1)} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$C_{pm} = (USL - LSL) / 6 \times \hat{\sigma} \quad (12)$$

3.4. Procjena sposobnosti procesa u programu Minitab

Pri izradi izvješća procjene sposobnosti procesa u programu Minitab koristi se Capability Analysis (Normal) za podatke koji se rasipaju po normalnoj razdiobi. U slučaju da se podaci ne rasipaju po normalnoj razdiobi, podaci se transformiraju pomoću Box-Cox ili Johnson transformacije.

Izvješće uključuje histogram sposobnosti procesa s dvije ucrtane krivulje Normalne razdiobe i potpune tablice ukupne sposobnosti (overall) i sposobnosti unutar uzorka (within). Procjena sposobnosti procesa može se podijeliti u dvije kategorije, potencijalna i ukupna sposobnost. Svaka predstavlja jedinstvenu mjeru sposobnosti procesa. Potencijalnu sposobnost često se naziva i „prava“ sposobnost procesa, a zapravo se zanemaruju razlike između pojedinih uzoraka i pokazuje kako bi se proces mogao izvoditi, ako su razlike između pojedinih uzoraka eliminirane. Ukupna sposobnost je ona sposobnost koju kupac očekuje, kod koje su u obzir uzete razlike uzoraka. Krivulja se generira očekivanjem i standardnim odstupanjem iz uzorka za potencijalnu, te očekivanjem i ukupnim standardnim odstupanjem za ukupnu sposobnost procesa. [9]

Pokazatelji ukupne sposobnosti (overall):

PPM < LSL

PPM < LSL očekivani je broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su ispod donje granice zahtjeva (lower specification limit), a računa se:

$$1000000 * \left[1 - f \left(\frac{\bar{x} - LSL}{\sigma_{ukupno}} \right) \right] \quad (16)$$

gdje je:

$f(x)$ – funkcija normalne distribucije

\bar{x} – srednja vrijednost podataka

PPM < USL

PPM < USL očekivani je broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su iznad gornje granice zahtjeva (upper specification limit), a računa se:

$$1000000 * \left[1 - f \left(\frac{USL - \bar{x}}{\sigma_{ukupno}} \right) \right] \quad (17)$$

gdje je:

$f(x)$ – funkcija normalne distribucije

\bar{x} – srednja vrijednost podataka

PPM Ukupno (Total)

Očekivani broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su izvan obje granice zahtjeva.

$$PPM \text{ Ukupno} = PPM < LSL + PPM > USL \quad (18)$$

Pokazatelji sposobnosti iz uzorka (within):

PPM < LSL

PPM < LSL očekivani je broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su ispod donje granice zahtjeva (lower specification limit), a računa se:

$$1000000 * \left[1 - f \left(\frac{\bar{x} - LSL}{\sigma_{izuzorka}} \right) \right] \quad (19)$$

gdje je:

$f(x)$ – funkcija normalne distribucije

\bar{x} – srednja vrijednost podataka

PPM < USL

PPM < USL očekivani je broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su iznad gornje granice zahtjeva (upper specification limit), a računa se:

$$1000000 * \left[1 - f \left(\frac{USL - \bar{x}}{\sigma_{izuzorka}} \right) \right] \quad (20)$$

gdje je:

$f(x)$ – funkcija normalne distribucije

\bar{x} – srednja vrijednost podataka

PPM Ukupno (Total)

Očekivani broj komada od milijun (parts per million) čije vrijednosti su izvan obje granice zahtjeva.

$$PPM \text{ Ukupno} = PPM < LSL + PPM > USL \quad (21)$$

Izvještaj također uključuje statističke podatke procesa, kao što je primjerice očekivanje, cilj (ukoliko se traži), ukupno standardno odstupanje i standardno odstupanje iz uzorka, specifikacije procesa, promatranu preliminarnu sposobnost procesa (observed performance), te očekivanu sposobnost procesa iz uzorka i ukupnu sposobnost procesa.

Pokazatelji preliminarne sposobnosti (observed performance):

PPM < LSL

PPM (parts per million) < LSL je broj komada od milijun, čije vrijednosti su ispod donje granice zahtjeva, a računa se:

$$1000000 * \left(\frac{\text{broj_vrijednosti} < LSL}{N} \right) \quad (22)$$

PPM > USL

PPM (parts per million) > USL je broj komada od milijun, čije vrijednosti su iznad gornje granice zahtjeva, a računa se:

$$1000000 * \left(\frac{\text{broj_vrijednosti}(< LSL)}{N} \right) \quad (23)$$

PPM ukupno (total)

$$\text{PPM Ukupno} = \text{PPM} < \text{LSL} + \text{PPM} > \text{USL} \quad (24)$$

Ovakav izvještaj može se koristiti za vizualnu procjenu jesu li podaci normalno distribuirani, je li proces centriran, te je li sposoban za dosljedno ispunjavanje procesnih specifikacija, tj. zahtjeva.

Specifikacije o procesu unose se u komunikacijskom prozoru pod Opcije. Određuje se cilj procesa koji nam predstavlja idealnu mjeru, zapravo sredinu tolerancijskog područja koju određuju kupci, inženjeri ili menadžeri. Nakon unosa cilja Minitab izračunava Cpm kao i standardne indekse sposobnosti procesa. Također, može se odabrati na koji način će se prikazati procjena sposobnosti procesa i koji indeksi sposobnosti procesa. Postavke za raspon procesa mogu se podesiti pod opcijom Tools u alatnoj traci programa Minitab odabirom Options > Control Charts and Quality Tools > Capability analysis.

Ako su uzorci ili pojedinačni rezultati mjerenja u jednom stupcu, cijeli stupac unosi se u *Single column*. U *Subgroup size* unosi se veličina uzorka ili stupac s indikatorima uzorka. Za veličinu uzorka pojedinačnih rezultata mjerenja unosi se vrijednost 1. Ako su uzorci u redovima, potrebno je odabrati *Subgroup across rows of* i unijeti stupce koji sadrže redove u „kućicama“.

Nadalje, potrebno je unijeti *Lower specification* i/ili *Upper specification*, tj. donju i/ili gornju granicu zahtjeva. Mora se unijeti barem jedna granica. Po potrebi možemo koristiti *Options* u komunikacijskom prozoru. [9]

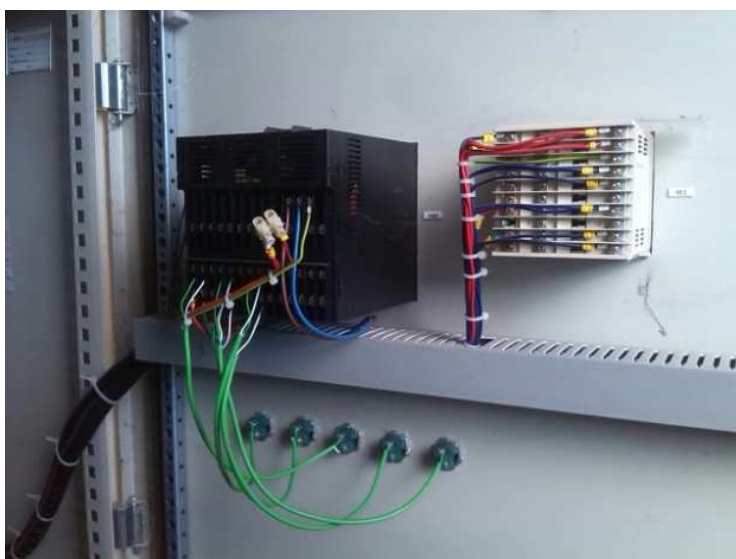
4. ANALIZA PROCESA TOPLINSKE OBRADE

Da bi proces toplinske obrade bio uspješan moraju se ispuniti određeni uvjeti. Te uvjete propisuje tehnolog ili ih kupac pripremi i pošalje zajedno s materijalom. Kako bi se osiguralo da će proces zadovoljiti uvjete koji su zadani, mora se nadzirati. Nakon samog procesa, mora se napraviti analiza podataka koja kupcu jamči da je proces proveden po pravilima koja su bila ranije propisana od strane ovlaštene osobe.

4.1. Postojeći nadzor

Nakon propisivanja tehnologije može se pristupiti samoj toplinskoj obradi. Proizvodi koji se toplinski obrađuju slažu se u peć. Uglavnom se radi o velikim, teškim proizvodima koji se moraju u peć polagati pomoću viličara. Pritom se mora voditi računa da se svaki predmet dobro postavi na čvrste oslonce jer prilikom visokih temperatura dolazi do mogućnosti deformacije koja ostaje i nakon ohlađivanja. Takav slučaj vrlo je štetan jer proizvod postaje neupotrebljiv.

Sljedeći korak je postavljanje termoelementa na sam proizvod. To omogućuje da se prati temperaturu proizvoda u svakom trenutku toplinske obrade. Termoelement se sastoji od dvije žice koje su spojene na jednom kraju. Prilikom promjene temperature, zbog različitih svojstava dva metala, dolazi do razlike potencijala na drugom kraju žica. Ta razlika potencijala bilježi se pomoću registratora temperature (slika 20) naziva CR06 hibridni pisač.



Slika 20. Prikaz spajanja termoelementa na registrator temperature

Trenutno pisač koristi pretvarač koji razliku potencijala s termoelementa pretvara u analogni signal te potom bilježi promjenu temperature u vremenu. Ta promjena bilježi se na milimetarskom papiru pomoću pisača (slika 21).



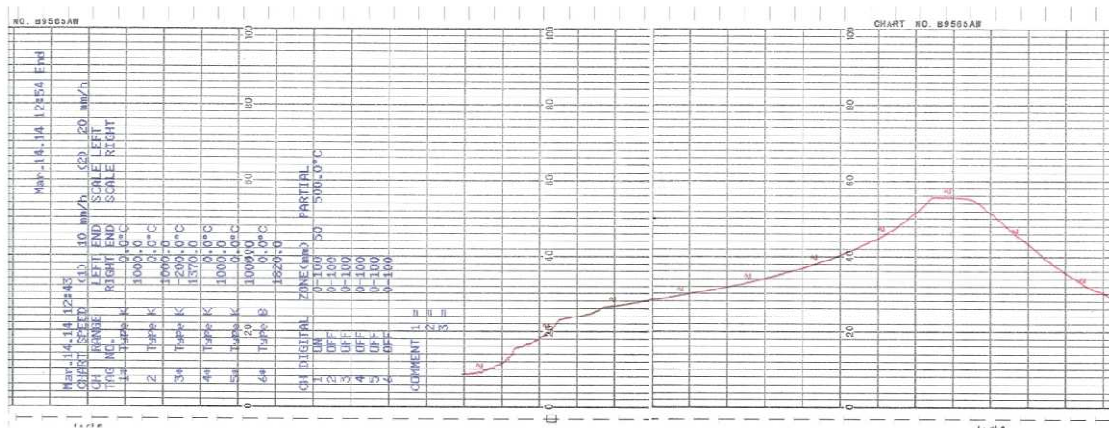
Slika 21. Registrator temperature s tintnim pisačem

Nakon postavljanja termoelementa, zatvaramo vrata peći. Procesom toplinske obrade upravlja programski regulator tvrtke „Shimaden“ serije FP93 (slika 20). Odabire se jedan od prethodno programiranih programa, ovisno o toplinskoj obradi. Nakon odabira programa počinje zagrijavanje peći. Programski regulator kontrolira prirast temperature kako bi se ispunili propisani parametri zagrijavanja. Postizanjem temperature toplinske obrade, radnik prebacuje regulator na sljedeći korak - držanje na propisanoj temperaturi. Završetkom držanja radnik uključuje proces hlađenja. Moguće je hlađenje na mirnom zraku, što podrazumijeva vađenje proizvoda izvan prostora peći (Slika 22). Ako je potrebno sporo hlađenje, proizvod se ostavlja u peći.



Slika 22. Vađenje proizvoda za hlađenje na mirnom zraku

Hlađenjem završava proces toplinske obrade i pristupa se analizi podataka (slika 23). Također se priprema dokumentacija koja se isporučuje s proizvodom.



Slika 23. Zapis podataka procesa toplinske obrade

Svake godine izvodi se certifikacija od strane ovlaštenog tijela kako bi Orometal bio ovlašten za izvođenje toplinske obrade i izdavanja atesta. Certifikacija se sastoji od toplinske obrade određenog proizvoda, uzimanja uzorka i njegovog ispitivanja (slika 24).



Slika 24. Podnica s označenim uzorcima za ispitivanje

Ujedno se redovito provodi umjeravanje mjernih uređaja na peći (slika 25).



Slika 25. Rezultati umjeravanja

4.2. Analiza procesa sa postojećim nadzorom

Postojeći nadzor pohranjuje podatke u obliku grafa na milimetarskom papiru (slika 23). Taj zapis nudi malu mjernu rezoluciju koja onemogućuje brzo i precizno očitavanje podatka te pohranu podataka u digitalnom obliku.

Analiza obuhvaća provjeru provedenih parametara propisanih odgovarajućom toplinskom obradom od strane tehnologa. Parametri koji moraju biti zadovoljeni odabranom toplinskom obradom su sljedeći:

- brzina zagrijavanja i hlađenja mora biti unutar granica određenih vrstom toplinske obrade,
- vrijeme držanja proizvoda na propisanoj temperaturi,
- uvjeti hlađenja sukladni odabranom procesu toplinske obrade.

Spomenuti parametri se nakon očitavanja ručno unose u odgovarajuće obrasce koji se prilažu u dokumentaciju koja se daje kupcu prilikom isporuke proizvoda.

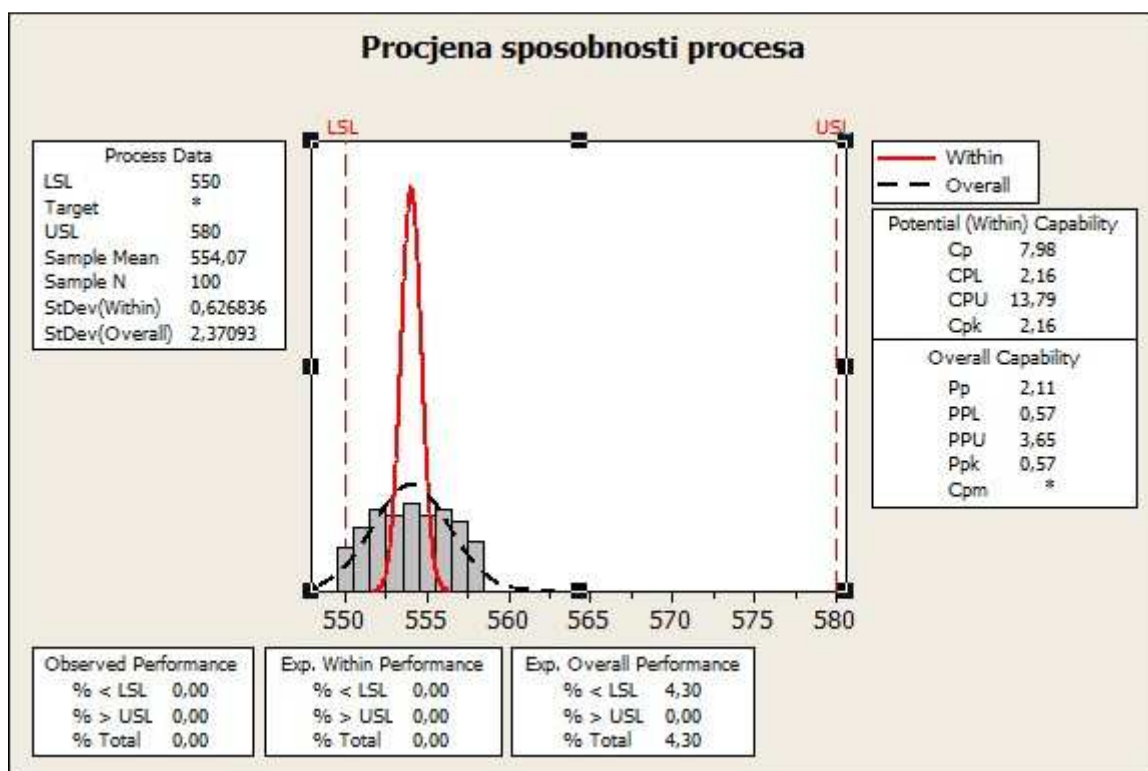
U nastavku su izvedene analize procesa sa simuliranim podacima u svrhu prikazivanja prednosti novog sustava za nadzor u odnosu na postojeći sustav nadzora.

4.3. Analiza u programu Minitab

Za simulaciju je uzet proces žarenja za redukciju zaostalih naprezanja. Postupak žarenja za redukciju zaostalih naprezanja provodi se na temperaturi od 550 – 580 °C u trajanju od 60 min. Brzina zagrijavanja i hlađenja iznosi minimalno 30 °C/h do maksimalnih 60 °C/h. Ispod 150 °C hlađenje se nastavlja na mirnom zraku. Podaci koji su upotrijebljeni za statističku obradu uzeti su iz 5 različitih serija za isti postupak. U svakoj seriji zabilježeno je 20 vrijednosti temperature držanja prikazanih u tablici 1. Statističkom obradom provjerena je sposobnost procesa.

Tablica 1. Prikaz izmjerenih podataka

Mjerenje:	Temperatura držanja (°C):				
1.	550	550	550	550	550
2.	551	550	550	551	551
3.	551	551	551	551	551
4.	552	551	551	552	552
5.	552	552	552	552	552
6.	552	552	552	553	552
7.	553	552	553	553	553
8.	554	553	553	553	553
9.	554	553	553	554	554
10.	555	553	554	554	554
11.	555	554	554	554	554
12.	556	554	554	555	555
13.	556	554	555	555	555
14.	556	555	555	555	555
15.	556	555	556	556	556
16.	557	556	556	556	556
17.	557	556	557	557	557
18.	558	556	557	557	557
19.	558	557	558	557	558
20.	558	557	558	558	558



Slika 26. Simulacija sposobnosti procesa toplinske obrade

Unošenjem izmjerenih podataka iz tablice 1. u Minitab i provjerom sposobnosti procesa dobiveni su podaci na temelju kojih se može utvrditi je li proces sposoban. Provjera se izvršila pomoću alata koji se nalazi pod Stat > Quality Tools > Capability Analysis > Normal. U postavkama odabranog alata odabire se stupac u kojima su navedeni podaci te se definiraju donja i gornja granica tolerancijskog polja.

Dobiveni grafički prikaz upućuje na to da je cijeli proces unutar granica tolerancije. Također je vidljivo da je cijeli proces pomaknut ulijevo, skroz uz donju granicu zahtjeva (LSL – Lower Specification Limit). Razlog tome je način vođenja procesa od strane Orometala. Proces držanja započinje na donjoj granici zahtjeva što osigurava kvalitetu obrade no istovremeno štedi energiju i vrijeme koje bi bilo potrebno da se zagrijavanje nastavi prema sredini tolerancijskog polja.

Očitavanjem dobivenih rezultata iz tablice također je vidljivo da je proces sposoban. Podaci su podijeljeni u dvije skupine, na sposobnost unutar procesa i ukupnu sposobnost. Za ukupnu sposobnost procesa, očekivanu kroz neko duže vremensko razdoblje, indeks sposobnosti procesa Pp iznosi 2,11 što je više od zahtijevanog graničnog slučaja od 1,67.

Očekivani postotak vrijednosti za ukupnu sposobnost procesa (Exp. Overall Performance) koje će biti ispod donje granice zahtjeva, iznosi 4,3%. To možda i nije za očekivati, s obzirom na već navedeni način vođenja procesa. To je i ukupni postotak vrijednosti koje će biti izvan granica, jer vjerojatnost da će proces proći preko gornjih granica iznosi 0%.

Kod sposobnosti unutar procesa gleda se indeks Cp. U ovom procesu iznosi 7,98 što je više od graničnog uvjeta koji iznosi 1,33. Postotak vrijednosti za sposobnost unutar samog procesa iznosi 0% što znači da su sve vrijednosti unutar granica zahtjeva.

4.4. Analiza procesa u programu Microsoft Excel

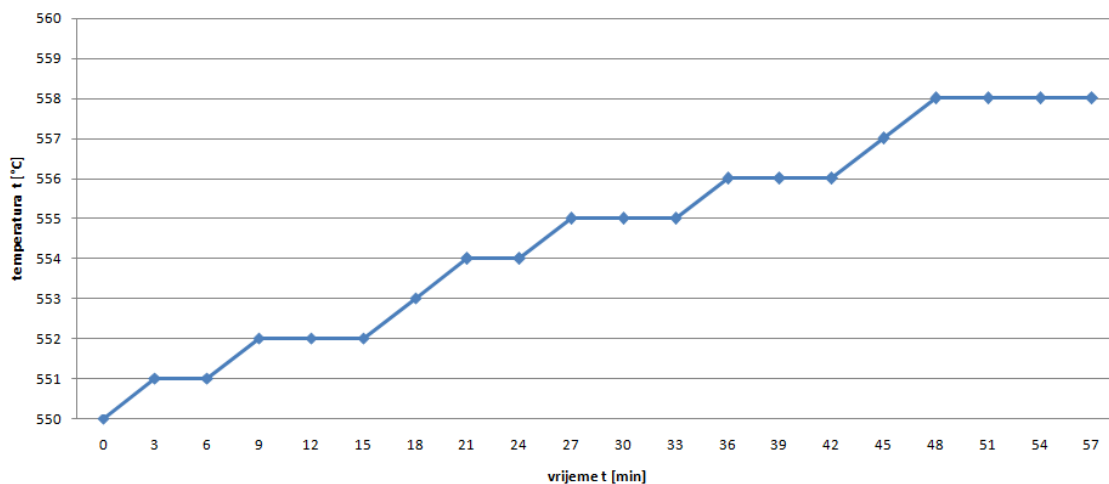
Kada je u pitanju provjera pojedinačnog procesa u smislu ostvarivanja parametra koji su zadani u ovisnosti temperature o vremenu ima nekoliko načina. Jedan od načina je unos vrijednosti u program za obradu podataka Microsoft Excel.

Naprimjer, može se izuzeti jedan dio obrade, držanje na temperaturi toplinske obrade (tablica 2) i napraviti analizu.

Tablica 2. Podaci za držanje

Temperatura(°C)	Vrijeme (min)
550	0
551	3
551	6
552	9
552	12
552	15
553	18
554	21
554	24
555	27
555	30
555	33
556	36
556	39
556	42
557	45
558	48
558	51
558	54
558	57

Važno je provjeriti kretanje temperature unutar zadanog vremena držanja. Temperatura se u ovom slučaju mora zadržati između 550 – 580 °C.



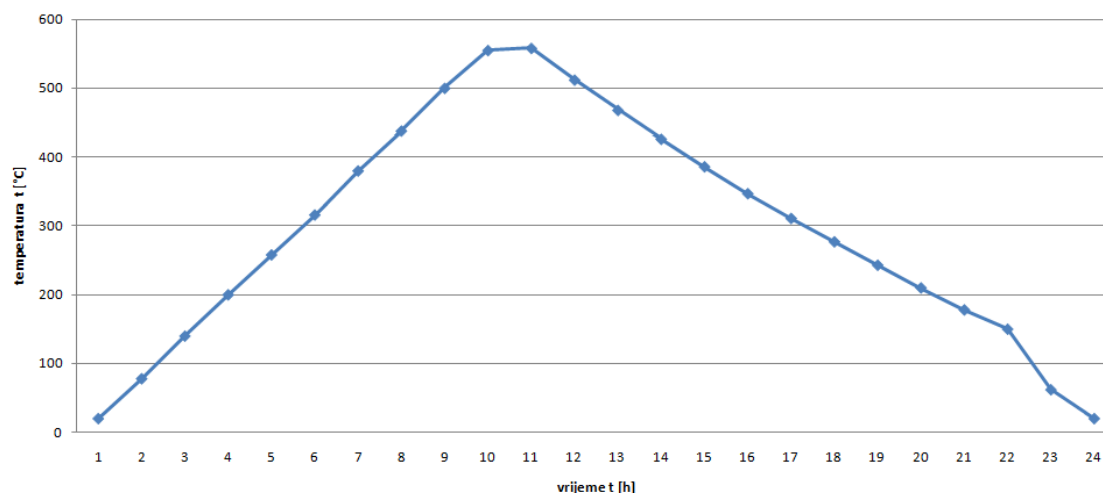
Slika 27. Provjera kretanja temperature unutar držanja

Iz grafa, koji je generiran iz podataka prikupljenih iz procesa i prebačenih u Excel, vidi se da je zahtjev za temperaturu držanja ispunjen i da je taj dio procesa pravilno izveden.

Kod provjere uvjeta da brzina zagrijavanja i hlađenja mora biti između 30 – 60 °C/h uzeti su podaci iz cijelog procesa (tablica 3) i generiran je graf (slika 28).

Tablica 3. Podaci za cijeli proces

Vrijeme (h)	Temperatura (°C)
0	20
1	78
2	140
3	200
4	258
5	316
6	380
7	438
8	500
9	555
10	558
11	512
12	468
13	426
14	386
15	347
16	311
17	277
18	243
19	210
20	178
21	150
22	62
23	20



Slika 28. Prikaz kretanja temperature cijelog procesa

Već u samoj tablici vidi se da su uvjeti ispunjeni, prirast temperature je unutar uvjeta 30 – 60 °C/h. Graf prikazuje kretanje temperature kroz cijeli proces i potvrđuje da je toplinska obrada izvedena u skladu sa zadanim uvjetima.

Ovim analizama prikazane su prednosti nadzora sa sustavom koji će se u nastavku opisati. Prednosti su:

- digitalan zapis koji u svakom trenutku bilježi vrijednosti temperature i vremena ta kao takav se može obrađivati u različitim programima za obradu podataka,
- zapis podataka je lakše i točnije očitati,
- podaci se mogu brzo i sigurno pohraniti na više mjesta,
- ispunjavanje obrazaca za dokumentaciju je bitno ubrzano i olakšano.

5. PRIJEDLOG NADZORA PROCESA TOPLINSKE OBRADE

Tijekom analize simuliranih podataka prikazane su mnoge prednosti koje bi se postigle ugradnjom novog sustava za nadzor. Dva su glavna nedostatka postojećeg sustava za nadzor.

Prvi nedostatak povezan je sa samim procesom toplinske obrade. Sustav vođenja procesa provodi se pomoću upravljanja koje je integrirano u upravljački ormar i kao takvo nije povezano sa nekim drugim sustavom. Kako se proces odvija u industrijskim uvjetima postoji mogućnost za mnoge smetnje. Te smetnje uzrokuju različite uvjete zagrijavanja koje zatim programski regulator neprestano podešava. Pošto proces nije automatiziran potrebna je prisutnost radnika za pojedine operacije tijekom izvođenja procesa. Vrijeme obrade, ovisno o procesu toplinske obrade, iznosi i do 20 sati. Izvođenje operacija od strane radnika uvjetuje ispunjavanje određenih uvjeta. Sve to rezultira potrebom radnika da dođe ranije do peći i prati proces. Nezgodno je to što je to često po noći te ponekad i po lošim vremenskim uvjetima.

Tako se došlo do ideje kako bi se ugradila nadzorna kamera preko koje bi se pratila trenutna temperatura u peći.

Drugi nedostatak je oblik zapisa parametara procesa. Kako je i ranije spomenuto, parametri se zapisuju pomoću tintnog pisača na milimetarski papir. Taj princip zapisa onemogućuje direktno korištenje podataka za obradu nego se oni prethodno moraju očitati i unijeti u računalo.

Registrator temperature, uz opciju pisanja na papir, ima serijski izlaz pomoću kojeg bi se ti isti podaci mogli pohranjivati u digitalnom obliku.

5.1. Postavljanje nadzorne kamere

Nadzorna kamera imala bi dvostruku ulogu. Primarno bi služila radniku, koji je zadužen za praćenje procesa, da zna točno u kojem je stadiju proces u određenom trenutku.

Uz to, može poslužiti kao zaštita u slučaju da se dogodi kvar na registratoru temperature jer bi pregledavanje snimke dalo informacije o temperaturi u određenom trenutku, uz uvjet da termoelement i dalje radi.

5.1.1. Odabir kamere

Mjesto gdje se bi se kamera montirala određuje više uvjeta koje sama kamera mora ispuniti:

- peć se nalazi u natkrivenom prostoru gdje se pojavljuju različiti vremenski uvjeti,
- mjesto ugradnje kamere dosta je udaljeno od glavne zgrade u kojoj se nalaze računala tako da je uvjet bežično povezivanje sa računalom,
- proces može trajati i više od 20 sati pa je poželjno da je kamera prilagođena i za rad noću,
- da bi se temperatura sa zaslona registratora temperature mogla točno očitati kamera treba snimati određenom kvalitetom rezolucije.

Uz sve te uvjete i cijena je bitan faktor pa se traži kamera koja nije preskupa. Uz kameru dobiva se i instalacijski CD kao i softver kojim možemo pristupiti prijenosu snimke. Prema želji i financijskim okvirima predložena je kamera „Wifi Outdoor Waterproof Wireless P2P IP Camera LED IR Night Vision DDNS SECURITY“.

Neki od parametara koje prema kojima je odabrana kamera:

- rezolucija: 0,3 MegaPiksela,
- brzina osvježavanja: 60Hz,
- mrežno sučelje: Wi-Fi/802.11/b/g, RJ-45 10/100Mb self-adaptable ,
- IP mod: Static IP address, Dynamic IP address,
- mogućnosti ugradnje: vanjski prostor.



Slika 29. Kamera za nadzor



Slika 30. Izgled softverskog sučelja

5.1.2. Povezivanje kamere sa računalom

Kamera povezana preko bežičnog interneta prikazuje snimku na računalu koje se nalazi u blizini cijelog sustava.

Postoje brojni načini pristupa nadzoru. Odabrani postupci zadovoljavaju financijske kriterije kao i jednostavnost izvedbe. Udaljeni pristup računalu koje vrši nadzor možemo ostvariti preko TeamViewera koji je programski alat za spontanu podršku i udaljeno upravljanje ili preko DynDNS a koji omogućuje udaljeni pristup i pregled prikaza kamere preko njezine IP adrese.

TeamViewer omogućuje upravljanje na daljinu Remote Desktop (Udaljeni Pristup) sa bilo kojim računalom. Osigurava tehničku podršku za mobilne uređaje i omogućuje povezivanje s iPad, iPhone, iPod Touch i Android uređajima na jednostavan način sa bilo koje lokacije.

Potrebno je samo preuzeti kompletnu inačicu TeamViewera te izvršiti instalaciju iste verzije programa na računalu koje je spojeno na kameru (host računalu) i na udaljenoj lokaciji koja je uvjetovana samo pristupom internetu.



Slika 31. Postupak spajanja sa računalom preko TimeViwer

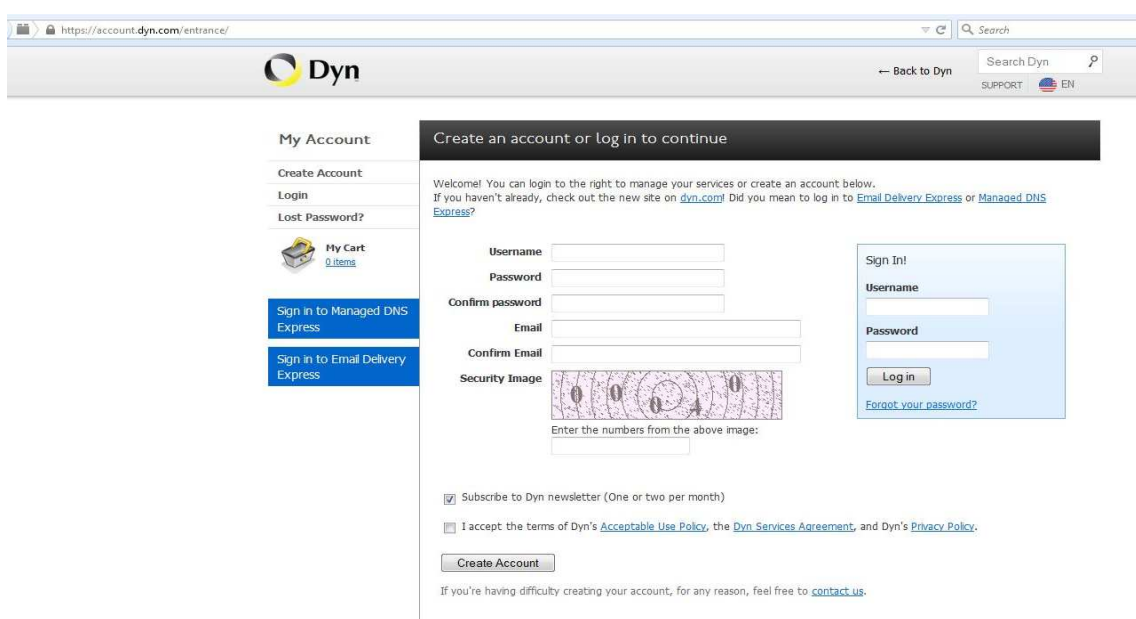
Za pristup nam je potreban ID računala na koje se spajamo kao i lozinka koja omogućuje privatnost i zaštitu. Kod registracije dobiva se jedinstven ID te se postavlja lozinka za zaštitu sustava.



Slika 32. Dodjeljivanje ID adrese i lozinke prilikom registracije

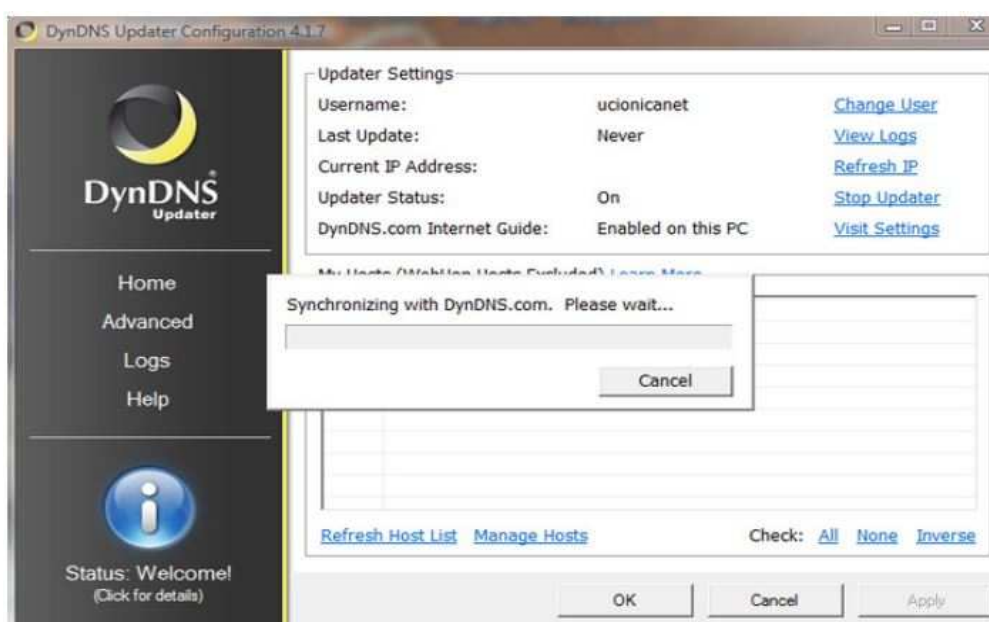
DynDNS je programski alat koji radi na sličnim principima kao i TeamViewera, jedina je razlika u pristupu. Preko DynDNS možemo direktno pristupiti snimci kamere preko njezine vlastite IP adrese. DynDNS sadrži besplatnu DNS adresu koja je uvijek povezana s trenutnom IP adresom, bez obzira da li se ona mijenja.

Potrebno je registrirati se i otvoriti korisnički račun na stranici dyn.com te instalirati malu aplikaciju po nazivu DynDNS updater koja sinkronizira vašu IP adresu s domenom. Nakon instalacije DynDNS updatera potrebno je upisati već odabrane korisničke podatke svog DynDNS računa.



Slika 33. Registracija na DynDNS

U bilo koji internet preglednik upisuje se adresu kamere i vidi se što ona prikazuje. Pristup je također moguć i preko mobilnih uređaja. Osim direktnog pristupa kameri DynDNS također omogućuje Remote Desktop kao i TeamViewer.



Slika 34. Povezivanje sa DynDNS

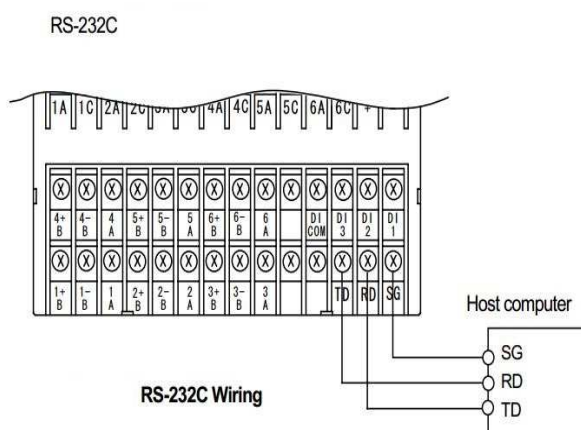
5.2. Slanje podataka pomoću serijske komunikacije

Registrator UM CR06 prikazuje trenutnu temperaturu koju mjeri termoelement tijekom procesa toplinske obrade na proizvodu. Kako registrator temperature u sebi ima sklop za pretvaranje signala, iznos temperature je digitaliziran te se prikazuje na sedam segmentnom pokazniku registratora. Za prijenos podataka treba računalo koje bi se preko serijskog porta RS232 spojilo na registrator temperature.[10]

Prostor gdje je smještena peć nema mogućnosti spajanja računala na mrežu nego bi se opet trebalo koristiti jedno od ranije opisanih rješenja ili jednostavno pohranjivati podatke na prenosivi disk. Podaci su spremljeni u digitalnom obliku i mogu se odmah koristiti za daljnju obradu.



Slika 35. Mjesto spajanja računala s registratorom temperature



Slika 36. Shema spajanja računala s registratorom temperature

6. ZAKLJUČAK

Analizom podataka utvrđeno je da se proces toplinske obrade, u ovom slučaju žarenje za redukciju zaostalih naprezanja, izvodi po propisanim parametrima. To je pokazatelj da je toplinska obrada uspješno izvedena.

Pomoću Minitaba, programa za statističku obradu podataka, izvršena je procjena sposobnosti procesa. Korišteni su podaci za jedan dio toplinske obrade – držanje na propisanoj temperaturi. Na temelju dobivenih rezultata i njihovom usporedbom sa referentnim vrijednostima proces se pokazao sposobnim. Nalazi se unutar zadanih granica iako je pomaknut ulijevo, prema donjoj granici zahtjeva. Uzrok tome je način na koji se izvodi proces. Kada se dostigne temperatura toplinske obrade, radnik prebaci na program držanja i zatim temperatura ostaje ista ili vrlo malo raste. Tako se štedi energija i vrijeme, a toplinska obrada je ispravna jer se nalazi unutar granica zahtjeva.

Iscrtavanjem grafa pomoću Microsoft Excela može se lako vidjeti da su poštovani zadani uvjeti o zagrijavanju i hlađenju proizvoda tijekom cijelog procesa. Također, prikazom u drugom grafu samo djela toplinske obrade, držanja, vidi se da je kroz cijeli proces temperatura u dopuštenim granicama.

Da bi ta analiza bila moguća treba imati točne podatke. Sadašnji način pohrane podataka, ispisivanjem grafa na milimetarski papir, takvu analizu čini dugotrajnom. Zbog male rezolucije upitno je i točno očitavanje podataka. Istraživanjem postojećih komponenti utvrdilo se da postojeći registrator temperature ima serijski port RS-232C pomoću kojeg bi se mogao povezati sa računalom i tako podatke iz procesa odmah spremati u digitalnom obliku. To bi uvelike olakšalo prijenos podataka između odjela u poduzeću, ubrzalo ispunjavanje obrazaca za dokumentaciju te omogućilo brzu i preciznu analizu podataka.

Nedostatak peći za toplinsku obradu je taj što se nalazi na udaljenom mjestu u dvorištu tvrtke i nije informatički spojena sa ostatkom tvrtke. Zbog toga se ne zna točno stanje u svakom trenutku nego radnik u određenom periodu mora dolaziti kod peći. Kako bi se to izbjeglo i omogućio se lakši nadzor procesa, počelo se tražiti rješenje koje je jednostavno i prilično povoljno. Rješenje je kamera za nadzor koja bi se preko bežične mreže spajala na računalo koje bi zatim prikazivalo sliku sa kamere. Postoji mogućnost da se ta slika vidi i na

drugim mjestima, čak i na mobilnom telefonu radnika. Za to je potrebna aplikacija koja upravlja drugim uređajima te je potrebna samo internet veza.

Iz svega navedenog može se zaključiti da se, do sada dobar proces, može učiniti još boljim pomoću jednostavnih rješenja koja ne zahtijevaju velike investicije.

LITERATURA

- [1] Arhiva TPK Orometal
- [2] <http://www.tpk-orometal.hr/hr/>; dostupno na dan 24.11.2014.
- [3] Novosel, M.: Inženjerski priručnik 4, Proizvodno strojarstvo, Zagreb, 1998.
- [4] http://www.fsb.unizg.hr/zavod_zamaterijale/download/9318753a770c716b9a9b7756122e37b3.pdf, dostupno dana 01.12.2014.
- [5] http://www.fsb.unizg.hr/usb_frontend/files/1329396769-0-prezentacija_mat_ii_to_pdf_bez_teksta.pdf, dostupno dana 08.12.2014.
- [6] Cajner, F; Stupnišek, M.: Osnove toplinske obradbe metala, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2001.
- [7] Bosio d.o.o; Elektro-peć, tip EUP- KP 14/1000, Upute za korištenje i održavanje
- [8] B. Runje: „Predavanja iz kolegija Osnove osiguranja kvalitete“, FSB 2008.
- [9] Introduction to Minitab: Student Version 12, MTSU 2004
- [10] CR06 HYBRID RECORDER; INSTRUCTION MANUAL

PRILOZI

I. CD-R disc